4. RED DE ALCANTARILLADO





ETERNIT COLOMBIANA S.A.
NIT. 860.002.302-9



ETERNIT COLOMBIANA S.A.

MANUAL DE INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE CONCRETO

BOGOTA D.C.

Carrera 7 Nº 26-20, Piso 16 Santafé de Bogotá, Colombia - A.A. 4256 - Teléfono: 340 4111 - Telefax: 288 6067 - 719 8843

INDICE

INTRODUCCION

1. GENERALIDADES
   1.1 Tipos de tubería de acuerdo con su grado de rigidez
      1.1.1 Tuberías Rígidas
      1.1.2 Tuberías Flexibles
   1.2 Condiciones de Instalación
      1.2.1 Conductos en Condición Zanja
      1.2.2 Conductos en Condición Terraplén

2. DISEÑO PARA TUBERIAS RIGIDAS INSTALADAS EN CONDICION ZANJA
   2.1 Determinación de las cargas de relleno
   2.2 Determinación de carga viva
   2.3 Carga total
   2.4 Cimentación de la tubería
   2.5 Factor de carga
   2.6 Factor de seguridad
   2.7 Carga máxima admisible
   2.8 Procedimiento a seguir
      2.8.1 Tipo de tubería
      2.8.2 Características principales de los tubos
      2.8.3 Determinación de cimentación (Base y Atraque)
         a) Ancho de zanja
         b) Cargas totales
         c) Cargas máximas admisibles
         d) Profundidades máximas a clave
         e) Volúmenes de cimentación

3. DISEÑO PARA TUBERIAS RIGIDAS INSTALADAS EN CONDICION TERRAPLEN
   3.1 Determinación de las cargas de relleno
      3.1.1 Proyección positiva
      3.1.2 Proyección negativa
      3.1.3 Zanja inducida

3.2 Determinación de la carga viva
3.3 Cimentación de la tubería
3.4 Factor de carga
3.4.1 Proyección positiva
3.4.2 Proyección negativa
3.4.3 Zanja inducida
3.5 Factor de seguridad
3.6 Carga máxima admisible

4. DISEÑO PARA INSTALACION MULTIPLE DE TUBERIAS
4.1 Determinación de las cargas de relleno
4.1.1 Análisis de la condición de carga
4.1.2 Método de diseño

5. EJEMPLOS DE SELECCION DE UNA TUBERIA Y SU CIMENTACION
5.1 Condición zanja
5.1.1 Alternativas de cimentación para tubería de concreto sin refuerzo, de acuerdo con la profundidad y el factor de carga escogidos.
a) Diseño detallado
b) Diseño abreviado
5.1.2 Alternativas de cimentación para una red de alcantarillado, que puede construirse con tubería de concreto sin refuerzo o tubería de concreto reforzado, según la profundidad de la cimentación y el factor de carga escogidos.
a) Diseño detallado
b) Diseño abreviado
5.2 Condición terraplén
5.2.1 Proyección positiva
5.2.2 Proyección negativa
5.2.3 Zanja inducida
5.3 Instalación múltiple

ANEXOS

Cuadro Nº1	Coeficiente de carga para zanja(Cd).
Cuadro Nº2	Coeficiente de carga viva (Cs).
Cuadro Nº3	Anchos de zanja (Bd).
Cuadro Nº4	Características principales de tuberías de concreto TITAN.
Cuadro Nº5	Cargas máximas admisibles para tuberías de concreto sin refuerzo.
Cuadro Nº5A	Cargas máximas admisibles para tuberías de concreto reforzado.
Cuadro Nº6	Profundidades máximas a clave para los diferentes tipos de cimentación y materiales de relleno. Tubería de concreto sin refuerzo.
Cuadro Nº6A	Profundidades máximas a clave para los diferentes tipos de cimentación y materiales de relleno. Tubería de concreto reforzado.
Cuadro Nº7	Volúmenes de cimentación para tuberías de concreto.
Cuadro Nº8	Factores de carga para condición terraplén proyección positiva.
Cuadro Nº9	Factores de carga para condición terraplén zanja inducida.
Figura Nº1	Factores de carga para diferentes cimentaciones (Base y Atraque).
Figura Nº2	Clases de cimentación para tuberías instaladas en condición terraplén.
Gráficos Nº1 a 4	Cargas totales sobre tuberías de concreto en zanja para arena, recebo o tierra, arcilla seca y arcilla saturada; como materiales de relleno.
Gráfico Nº5	Coeficiente de carga para condición terraplén proyección positiva.
Gráficos Nº6 y 7	Cargas de relleno en terraplén proyección positiva.
Gráficos Nº8 y 9	Coeficiente de carga para condición terraplén proyección negativa o zanja inducida.
Gráfico Nº10	Anchos de transición.

1. GENERALIDADES

1.1 TIPOS DE TUBERIA DE ACUERDO CON SU GRADO DE RIGIDEZ

Las tuberías utilizadas para alcantarillado se dividen en dos grandes grupos: tuberías rígidas y tuberías flexibles.

1.1.1 Tuberías rígidas

Se define como conducto rígido aquel cuyos cambios por efecto de cargas externas, en cualquier sección transversal, no pueden hacer variar su dimensión vertical u horizontal en más de 0.1%, sin causar al material grietas o roturas. Dentro de este grupo se encuentran las tuberías de concreto, gres, asbesto cemento y hierro fundido. Fallan generalmente por ruptura de la pared.

1.1.2 Tuberías flexibles

Se define como conducto flexible aquel de paredes delgadas cuyos cambios, por efecto de cargas externas, pueden hacer variar su dimensión vertical u horizontal en más de 3.0%, antes de causar al material grietas o roturas. Fallan generalmente por flexión y dependen exclusivamente de su resistencia para soportar las cargas externas. Al deformarse bajo las cargas, el diámetro horizontal aumenta, comprimiendo el terreno adyacente a los lados y crea, por lo tanto, una resistencia pasiva, que ayuda a soportar las cargas verticales sobre la tubería. Dentro de este grupo se encuentran las tuberías de PVC, polietileno, poliuretano y similares.

1.2 CONDICIONES DE INSTALACION

De acuerdo con las condiciones de instalación, los conductos pueden clasificarse como conductos en condición zanja y conductos en condición de terraplén.

1.2.1 Conductos en condición zanja

Son estructuras enterradas completamente en zanjas estrechas, cuyos lados no han sufrido mayores disturbios y cuyo ancho es relativamente pequeño en relación con la altura del relleno. En este tipo de instalación, el material de relleno tenderá a asentarse en relación con las paredes de la zanja, generando en dirección a la superficie fuerzas, por efecto de la fricción, que alivian la carga sobre la tubería, de tal forma que en esta condición las cargas producidas por el relleno son iguales al peso del prisma por encima de la clave de la tubería, menos las fuerzas de fricción.

A medida que el ancho de la zanja se aumente, también aumenta el tamaño del prisma de relleno, incrementándose por lo tanto la carga que debe soportar el tubo. Si el ancho de la zanja es incrementado significativamente, el efecto de las fuerzas

de fricción entre el relleno y las paredes de la zanja se reduce o elimina, incrementándose la carga sobre la tubería, hasta llegar a un valor límite a partir del cual la carga permanece constante. Este punto límite se denomina ANCHO DE TRANSICION. Por lo tanto, para evitar un aumento de cargas sobre el conducto, se deben especificar ANCHOS DE ZANJA MAXIMOS, de acuerdo con el diámetro del tubo y la facilidad de instalación, tomándose generalmente un valor del diámetro exterior más 0.40 m para diámetros hasta 1.30 m, 0.50 m para diámetros entre 1.40 m y 2.00 m y 0.60 m para diámetros mayores de 2.00 m.

1.2.2 Conductos en condición de terraplén

Se presenta esta condición cuando la tubería se instala sobre un terreno natural para luego rellenarlo, o cuando el ancho de la zanja es mayor que el ANCHO DE TRANSICION. Pueden ser de los siguientes tipos:

Conductos de proyección positiva: Son conductos instalados sobre una cama panda, con el extremo superior por encima de la rasante natural, y luego cubiertos con material de relleno. Incluyen los conductos instalados en zanjas anchas superiores al ancho de transición.

Conductos de proyección negativa: son conductos instalados en zanjas relativamente angostas, con el extremo superior por debajo de la rasante natural y luego cubiertos con material de relleno de una altura muy superior a la profundidad de la zanja. Un caso típico es el entubamiento del cauce de una quebrada.

Conductos en zanja inducida: son conductos en los cuales la tierra a los lados y por encima está bien compactada y luego se excava una zanja directamente sobre el conducto para después rellenarla con material compresible bien suelto, y luego completar el terraplén en forma natural.

2. DISEÑO PARA TUBERIAS RIGIDAS INSTALADAS EN CONDICION ZANJA

En general, deben cumplirse las etapas siguientes para seleccionar la clase de tubería apropiada: Inicialmente, un análisis físico de la instalación determina las condiciones de carga de la tubería, ya que gracias a él, se definen las profundidades y el tipo de material que se utilizará como relleno, así como el ancho máximo de zanja.

Luego y de acuerdo con lo anterior se procede a:

- Determinar la carga debida al relleno,
- Determinar la carga viva y la carga total,
- Seleccionar la cimentación,
- Determinar el factor de carga,
- Aplicar el factor de seguridad, y
- Seleccionar la resistencia del tubo.

2.1 DETERMINACION DE LAS CARGAS DE RELLENO

Estas cargas denominadas carga muerta, son producidas por el relleno de la zanja sobre la tubería y su magnitud se calcula mediante la fórmula de Marston, así:

$W = Cd \cdot w \cdot Bd^2$,

siendo:

W = carga muerta sobre la tubería en kg/m*

w = peso unitario del material de relleno en kg/m^3

Bd = ancho de la zanja a la altura de la clave de la tubería en m

* = metro lineal de tubo

Cd = coeficiente de carga para instalación en zanja, adimensional, el cual es función de la altura de relleno (H), el ancho de la zanja (Bd), del coeficiente de fricción entre el relleno y los lados de la zanja y de la relación de la presión lateral a la presión vertical (K). Para facilitar la determinación del factor Cd, se presenta el cuadro Nº1 en el cual a partir de la relación H/Bd, y conocido el material de relleno, se encuentra el valor de Cd. Estos cuadros se han obtenido a partir de la fórmula:

$$Cd = \frac{1-e^{-2\,ku'\,(H/Bd)}}{2\,Ku'}$$

en la cual:

e = base de los logarítmos naturales = 2.7182812

$$K = \frac{\sqrt{u^2+1} - u}{\sqrt{u^2+1} + u}$$

u = coeficiente de fricción interna del material de relleno.
u' = coeficiente de fricción entre el material de relleno y las paredes de la zanja, el cual es igual o menor que u, tomándose para los cálculos generalmente iguales.

Para la elaboración de los gráficos y cálculos de cargas se han utilizado los siguientes materiales de relleno:

Material	***w(kg/m3)**	**Ku'**
Arena	1.600	0.1924
Tierra*	1.800	0.1500
Arcilla seca	1.800	0.1300
Recebo o mezcla de arena y grava *	1.950	0.1650
Arcilla saturada	2.100	0.1100

* Para la determinación de la carga muerta, se han tomado como similares la tierra, recebo o mezcla de arena y grava.

2.2 DETERMINACION DE CARGA VIVA

La carga viva esta normalizada con base en el camión HS20, el cual aplica una carga de 7257 kg en un área de 0.25 x 0.50 m. La carga ejercida sobre el tubo por una carga concentrada en la superficie, tal como una rueda de un camión, se calcula por la fórmula:

$$Wv = Cs \frac{P.F}{L}$$

Wv= carga en la tubería en kg/m*
P = carga concentrada: 7257 kg
F = factor de impacto el cual depende de la profundidad de la tubería y tiene los siguientes valores:

Profundidad (m)	Factor
0.00 - 0.30	1.3
0.31 - 0.60	1.2
0.61 - 0.90	1.1
0.91 en adelante	1.0

L = longitud del tramo: (1.00 m)
Cs = coeficiente de carga para cargas concentradas, adimensional, que es una función dependiente de la altura (H) del relleno, el diámetro exterior de la tubería (Bc) y la longitud de la tubería (L), para cuyo cálculo se presenta el cuadro Nº2
*= metro lineal de tubo

2.3 CARGA TOTAL

Debido a que, generalmente, las tuberías para alcantarillados, tanto de aguas negras como de aguas lluvias, se instalan por el centro de las calzadas, vías existentes o proyectadas, la carga total que resistirá la tubería será la suma de la carga muerta más la carga viva. Los valores que se presentan en los gráficos Nº 1, 2, 3, 4 corresponden a los anchos de zanja definidos en el cuadro Nº 3, a las diferentes profundidades de relleno, y con base en los materiales de relleno mencionados en el aparte 1.2.2.

2.4 CIMENTACION DE LA TUBERIA

La cimentación de la tubería, es el medio por el cual la reacción vertical alrededor de la superficie inferior de la tubería se transfiere a su estructura.

La carga, que soporta un tubo rígido, depende también de la capacidad de la cimentación (base y atraque) para distribuir apropiadamente la reacción vertical a la tubería, de tal forma que ella no sea esforzada hasta su capacidad estructural. Los factores que determinan la capacidad de la cimentación para distribuir estas fuerzas de reacción son: Area de contacto con la tubería, clase de material y grado de compactación.

La norma Icontec 1259 define diferentes cimentaciones (base y atraque) para tuberías rígidas enterradas en condición de zanja, las cuales se ilustran en la figura Nº1.

La cimentación a utilizar debe ser determinada por el diseñador y especificada en los planos de construcción.

2.5 FACTOR DE CARGA

El factor de carga es la relación entre la carga máxima admisible que soporta la tubería instalada y la carga de rotura, si se utiliza tubería de concreto sin refuerzo, o la carga de grieta, en caso de utilizarse tubería de concreto reforzado.

Tanto, la carga de rotura como la carga de grieta, se obtienen por medio del ensayo de los tres apoyos, cuyos valores están especificados en las Normas Icontec 1022 y 401, para tuberías de concreto sin refuerzo y concreto reforzado, respectivamente.

La manera de realizar el ensayo de los tres apoyos está especificado en la Norma Icontec 212. Los factores de carga para tuberías rígidas en condición zanja, se ilustran en la figura Nº1 y dependen básicamente del tipo de cimentación.

2.6 FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad se utiliza en el cálculo, debido a que los esfuerzos soportados por la tubería enterrada, dependen de condiciones de instalación que se encuentran a menudo fuera del control del diseñador. Los valores utilizados para estos factores están basados en la experiencia.

Para tubería rígida sin refuerzo, se especifica un factor de 1.5 y para tuberías rígidas reforzadas se especifica un factor de seguridad de 1.0.

2.7 CARGA MAXIMA ADMISIBLE

La carga máxima admisible, que debe soportar la tubería de concreto instalada en una red de alcantarillado, está dada por la siguiente relación:

$$\text{Carga Máxima Admisible} = \frac{\text{Carga de Rotura a los tres Apoyos} \times \text{Factor de Carga}}{\text{Factor de Seguridad}}$$

En los cuadros Nº 5 y Nº 5A se presentan los valores calculados de carga máxima admisible para tuberías de concreto sin refuerzo, Clases 1, 2 y única, y de concreto reforzado, Clases I a V.

Estos valores se calcularon para los diferentes factores de carga y materiales de relleno contemplados en el presente estudio.

2.8 PROCEDIMIENTO A SEGUIR

2.8.1 Tipo de tubería

Conducto rígido

2.8.2 Características principales de los tubos

Las características se presentan en el cuadro Nº4

2.8.3 Determinación de la cimentación (Base y Atraque)

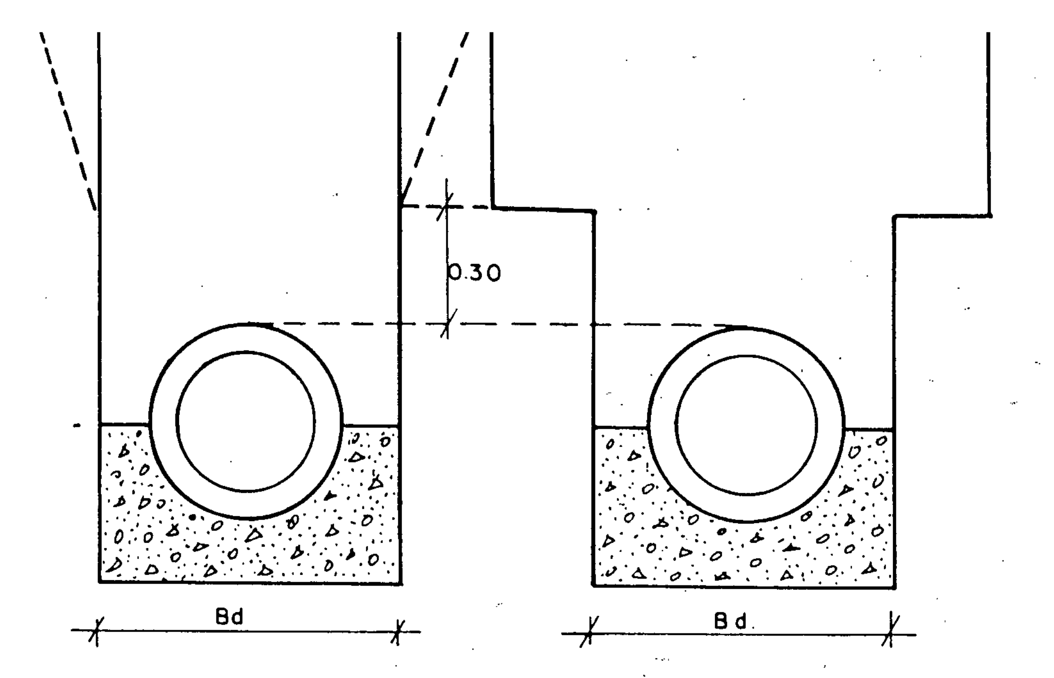
De acuerdo con la altura y clase del material de relleno, el ancho de zanja y la resistencia del tubo, se selecciona la cimentación (base y atraque) necesaria para evitar la falla de la tubería.

Para hacer esta selección, se siguen los siguientes pasos:

a) Ancho de zanja

Con el objeto que la tubería reciba la menor carga por el material de relleno, y a la vez su instalación sea fácil, de acuerdo con su diámetro, se recomiendan los anchos de zanjas mostrados en el cuadro Nº 3, los cuales, además, son la base para calcular las cargas sobre las tuberías.

En caso que por razones de profundidad y clase del terreno, en el cual se ejecuta la excavación, haya necesidad de ampliar la sección de corte, se deberá mantener la pared de la excavación vertical hasta 0.30 m por encima de la clave de la tubería y a partir de ese punto, ejecutar la excavación como se muestra en las siguientes figuras:



b) Cargas totales

Con base en los anchos de zanja, el material de relleno y la profundidad de excavación, se presentan en los gráficos Nos. 1, 2, 3, y 4, las cargas totales producidas por la carga muerta (relleno), más la carga viva.

c) Cargas máximas admisibles

En el cuadro Nº 5 se presentan, para los distintos factores de carga, los valores de las cargas máximas admisibles correspondiente a la tubería de concreto sin refuerzo, calculadas con base en la relación presentada en el numeral 2.7, para cargas de rotura y un factor de seguridad igual a 1.5.

En el cuadro Nº 5A se presentan, para los distintos factores de carga, los valores correspondientes a las cargas máximas admisibles para la tubería reforzada, calculadas de la misma manera, y con base en la carga de grieta y un factor de seguridad igual a 1.0.

d) Profundidades máximas a clave

Como una ayuda para el diseñador, se muestran en los cuadros Nº 6 y Nº 6A las profundidades a las cuales puede instalarse la tubería de concreto según el material de relleno, la cimentacion escogida y las clases de tubería. Estos cuadros se obtuvieron a partir de los cuadros Nº 5 y Nº 5A, y los gráficos Nos. 1, 2, 3 y 4.

e) Volúmenes de cimentación

En el cuadro Nº 7, se muestran los volúmenes de cimentación (base y atraque) necesarios para los diferentes diámetros y cimentaciones, los cuales están basados en el ancho máximo de zanja recomendado en el cuadro Nº 3 y de acuerdo con las medidas especificadas en la figura Nº 1 de factores de carga para diferentes cimentaciones.

3. DISEÑO PARA TUBERIAS RIGIDAS INSTALADAS EN CONDICION TERRAPLEN

Inicialmente, se debe determinar a que tipo de condición corresponde la instalación: si es de proyección positiva, proyección negativa o zanja inducida.
Una vez definido lo anterior, se procede, como en el caso de la condición zanja a:

- Determinar la carga debida al relleno.
- Determinar la carga viva y la carga total.
- Seleccionar la cimentación.
- Determinar el factor de carga.
- Aplicar el factor de seguridad, y
- Seleccionar la resistencia del tubo.

3.1 DETERMINACION DE LAS CARGAS DE RELLENO

3.1.1 Proyección positiva

La carga de relleno sobre un conducto de proyección positiva se calcula por la fórmula:

$Wc = Cc.w.Bc^2$

Siendo:

Wc = Carga muerta sobre la tubería en kg/m líneal
w = Peso unitario del material del terraplén en kg/m^3
Bc = Diámetro exterior del tubo
Cc = Coeficiente, que varía en función de la relación de Rankine (K), el coeficiente de fricción interna (u), la relación de asentamiento (rsd), la relación de la altura de relleno (H) al diámetro exterior del tubo (Bc) y la relación de proyección (p) que es la altura del lomo del tubo sobre el terreno natural, dividida por el diámetro exterior del tubo.

Para facilitar la determinación de este coeficiente, se presenta el gráfico Nº5, elaborado a partir de ku = 0.19, que de acuerdo con Marston dá un valor de Cc suficientemente seguro, y valores de rsd de acuerdo a la siguiente tabla:

Tipo de suelo de la base	**rsd recomendado**
Roca	1.0
Suelo ordinario	0.7
Suelo blando	0.3

Teniendo en cuenta que ésta condición de terraplén, (proyección positiva) es la que más frecuentemente se presenta en la práctica, se han preparado los gráficos Nº 6 y 7, con los cuales se determina fácilmente las cargas producidas por el relleno en terraplén sobre las tuberías, a partir de la altura del relleno sobre el tubo y el diámetro del mismo, suponiendo como material de relleno, la arena (w=1600 kg/m³); para materiales diferentes de relleno, el valor leido en el gráfico se deberá dividir por 1600 y multiplicar por el peso específico del material a utilizar. Igualmente se dibujan los gráficos hasta una altura de relleno de 8 m, por considerarla una altura suficiente para un terraplén. En caso de alturas mayores se debe extrapolar.

3.1.2 Proyección negativa

La carga de relleno sobre un conducto de proyección negativa se calcula por la fórmula:

$Wn = Cn.w.Bd^2$

Siendo:

Wn = Carga muerta sobre la tubería en kg/m lineal

w = Peso unitario del material del terraplén en kg/m³

Bd = Ancho de la zanja en m.

Cn = Coeficiente que varía en función de la relación de Rankine (K), el coeficiente de fricción interna (u), la relación de asentamiento (rsd), la relación de la altura del relleno (h) el ancho de la zanja (Bd) y la relación de proyección (p') que es la profundidad del lomo del tubo por debajo del terreno natural, dividida por el ancho de la zanja.

Para facilitar la determinación de éste coeficiente, se presentan los gráficos Nºs. 8 y 9, elaborados a partir de Ku = 0.13, que de acuerdo con Marston, dá valores que aseguran un valor confiable de Cn, y valores de rsd de acuerdo a valores de p', así:

p'	**rsd**
0.5	-0.1
1.0	-0.3
1.5	-0.5
2.0	-1.0

3.1.3 Zanja inducida

La zanja inducida, concepto de instalación sugerido por Marston, y desarrollado posteriormente por Spangler como un caso especial de proyección negativa, produce una carga de relleno que se calcula con la siguiente fórmula:

$Wi = Ci.w.Bc^2$

En el cual los términos son los mismos del caso de proyección negativa y el coeficiente Ci se determina con los mismos gráficos Nos 8 y 9.

Los valores de rsd de acuerdo a valores de p' son:

p'	rsd
0.5	-0.5
1.0	-0.7
1.5	-1.0
2.0	-2.0

3.2 DETERMINACION DE LA CARGA VIVA

Las cargas vivas para el caso de instalaciones en condición terraplén son las mismas que para el caso de la condición zanja. Se determinan en la misma forma explicada en el numeral 2.2.

3.3 CIMENTACION DE LA TUBERIA

Con el desarrollo de métodos mecánicos para la preparación de la base, instalación de la tubería, relleno y compactación, el uso de material granular para la cimentación es el más practicado.

En la figura Nº 2 se presentan las cuatro clases A, B, C y D, de cimentación para la instalación de tuberías en condición terraplén.

3.4 FACTOR DE CARGA

3.4.1 Proyección positiva

Para determinar el factor de carga se emplea la fórmula:

$$F.c = \frac{A}{N - x.q}$$

en la cual:

F.c = Factor de carga

A = Constante que para tubos circulares es 1.43

N = Factor de cimentación que depende de la distribución de la reacción vertical, sus valores son:

Clase A = 0.505 Clase C = 0.840

Clase B = 0.707 Clase D = 1.310

x = Valor que es función de la relación de proyección "p"

p	x	x' (para base de concreto)
0.3	0.217	0.743
0.5	0.423	0.856
0.7	0.594	0.811
0.9	0.655	0.678
1.0	0.638	0.638

q = Relación de la presión total lateral a la presión total vertical y es igual a:

$$q = \frac{p.K}{Cc}\left(\frac{H}{Bc} + \frac{p}{2}\right)$$

En el cuadro Nº 8 se presentan los factores de carga para ésta condición de instalación.

3.4.2 Proyección negativa

Para ésta condición de instalación se utilizan los mismos factores de carga y cimentaciones dados para la condición zanja.

3.4.3 Zanja inducida

Para esta condición de instalación, se calculan de la misma manera que para el caso de proyección positiva. En el cuadro Nº 9 se presentan los valores de estos factores de carga.

3.5 FACTOR DE SEGURIDAD

Se aplican los mismo factores de seguridad que para la instalación en condición zanja, o sea, 1.5 para tubería de concreto sin refuerzo y 1.0 para tubería de concreto reforzado.

3.6 CARGA MAXIMA ADMISIBLE

Es la carga que debe determinarse para el tubo, para compararla con la carga total que recibirá éste.

$$\text{Carga Máxima Admisible} = \frac{\text{Carga de Rotura y/o Grieta x Factor de Carga}}{\text{Factor de Seguridad}}$$

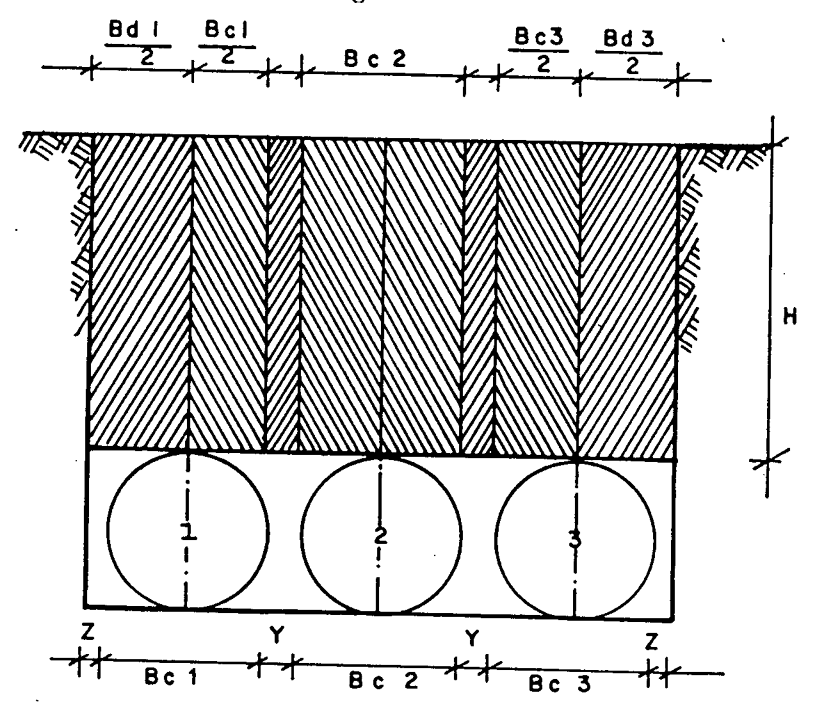
4. DISEÑO PARA INSTALACION MULTIPLE DE TUBERIAS

Este tipo de instalación, que consiste en la colocación de dos o más tuberías en la misma zanja o terraplén, se presenta comúnmente cuando las restricciones de recubrimiento impiden el uso de una tubería de mayor diámetro, cuando se van a instalar las redes de aguas negras y aguas lluvias en la misma zanja, o cuando, por rapidez de instalación se cambia una sección de box-culvert por dos o más tuberías equivalentes.

4.1 DETERMINACION DE LAS CARGAS DE RELLENO

Para varias tuberías en una sola zanja, el tipo de carga para cada una puede variar de una simple "condición zanja" a una "condición terraplén en proyección positiva", o a una combinación de las dos. Como el tipo de carga afecta el peso recibido por el tubo, se requiere un análisis geométrico de cada caso, para determinar que posible tipo de carga corresponde a cada tubería.

4.1.1 Análisis de la condición de carga



Analizando la tubería del centro primero, se nota que si el diámetro exterior del tubo (Bc2) más el espacio entre los tubos adyacentes (2Y) es igual o mayor que el ancho de transición para el ancho del tubo y la profundidad del relleno (H) sobre el lomo del mismo, entonces el tubo 2 está en condición de proyección positiva.

Si Bc2 más 2Y es menor que el ancho de transición, no existe la condición de proyección positiva para el tubo 2 y las cargas de relleno serán menores debido a que no se ejercen fuerzas de fricción hacia abajo por las columnas intermedias de suelo.

Si Y y el espacio entre las tuberías exteriores y la pared de la zanja (Z) son pequeños comparados con Bc y H, la totalidad del peso del relleno se puede repartir proporcionalmente para las tres tuberías, y toda la instalación está en "condición zanja".

A continuación, analizando los tubos 1 y 3, se nota también que, cuando la mitad del ancho de la zanja para cada tubería (Bd1/2 o Bd3/2) es menor que la mitad del ancho de transición para la condición dada, entonces la respectiva columna de suelo exterior está funcionando como una instalación en zanja.

Estas mismas columnas exteriores funcionarán como una instalación en condición de proyección positiva, cuando el ancho de cada columna sea igual o mayor a la mitad del ancho de transición.

Analizando las columnas interiores de suelo, $\frac{Bc1}{2}$ y $\frac{Bc3}{2}$

es evidente que funcionarán como condición de zanja ancha o proyección positiva, si el ancho (Bc/2 + Y) es igual o mayor que la mitad del ancho de transición.

En el gráfico Nº 10 se determina el ancho de transición a partir de la altura del relleno sobre el lomo de la tubería, para los diferentes diámetros, y relleno con recebo o tierra.

4.1.2 Método de diseño

Un análisis geométrico de la instalación determinará el tipo o tipos probables de carga sobre cada tubería. Después de determinado el tipo de carga, el peso que deberá soportar cada tubería se puede calcular por el método que le corresponda, bien sea para condición zanja o cualquiera de las condiciones terraplén ya explicadas.

Si durante el análisis de la instalación resulta que se alcanza el punto de transición entre dos condiciones de carga, el peso de la tierra usado deberá ser el mayor de los dos, calculados con base en cada tipo de condición de carga.

5. EJEMPLOS DE SELECCION DE UNA TUBERIA Y SU CIMENTACION

5.1 CONDICION ZANJA

5.1.1 Alternativas de cimentación para tubería de concreto sin refuerzo, de acuerdo con la profundidad y el factor de carga escogidos.

Determinar el tipo de tubería y la cimentación respectiva para la instalación de un alcantarillado de ø 24" a una profundidad de 3.20 m a clave, suponiendo que se va a colocar en un terreno donde predomina la arcilla saturada.

a) Diseño detallado

1. Se selecciona tubería de concreto
2. Para la excavación, el ancho máximo de la zanja debe ser 1.15 m., según el cuadro Nº3
3. Conocidos el ancho, profundidad y material de relleno, con base en el cuadro Nº1 se determina el coeficiente Cd y a partir de él se calcula la carga producida por el relleno así:

$w = Cd.w.Bd^2$
$Cd = 2.06 \quad w = 2100\ kg/cm^2 \quad Bd = 1.15\ m$
$W = 5721.14\ kg$
A continuación se determina el coeficiente Cs para calcular la carga viva así:

$$Wc.v = Cs \times \frac{P \times F}{L}$$

Del cuadro Nº2 se obtiene: Cs = 0.034
P = carga concentrada (camión HS20) = 7257 kg
F = factor de impacto = 1.0 (para profundidades de 0.90 m)
L = 1.00 m

$$Wc.v = \frac{0.034 \times 7257 \times 1.0}{1.00} = 246.74\ kg$$

Luego, la carga total será:
5721.14 + 246.74 = 5968 kg

Para obviar el cálculo anterior, se puede utilizar el gráfico Nº4, en el cual con la ordenada de 3.20 m. de altura de relleno y la curva correspondiente a ø24" se lee en la abscisa una carga total de 5900 kg.

4. Con la carga total de 5900 kg y con base en el cuadro Nº5, se puede ver que de utilizarse tubería sin refuerzo clase 1, se requiere una cimentación en concreto hasta el eje del tubo, con un factor de carga de 3.0 y una carga máxima admisible de 7.750 kg.

   Si se utiliza tubería sin refuerzo clase 2, se requeriría una cimentación en material granular bien compactado, hasta el eje del tubo, para un factor de carga de 1.9 y una carga máxima admisible de 6.783 kg.

b) Diseño abreviado

Para obviar todos los pasos mostrados en el punto anterior, se elaboró el cuadro Nº6, el cual, directamente con el diámetro de la tubería y el material de relleno, se establecen las diferentes combinaciones entre clase de la tubería y clase de cimentación, las cuales determinan la profundidad máxima a clave para su utilización.

En el caso del ejemplo, se tendría para tubería de concreto sin refuerzo:

Clase 1: Para factor de carga 3.0, la profundidad podría ser entre 3.00 m y 5.10 m.

Clase 2: Para factor de carga 1.9 la profundidad podría ser entre 2.80 m y 4.10 m.

En el caso de quererse utilizar tubería de concreto reforzado, el manejo de los cuadros y gráficos es similar.

Planteadas todas las anteriores alternativas, la selección final deberá ser, necesariamente, de tipo económico.

5.1.2 Alternativas de Cimentación para una red de alcantarillado que pueda construirse con tubería de concreto sin refuerzo o tubería de concreto reforzado, según la profundidad y el factor de carga escogidos.

Determinar el tipo de tubería y la cimentación respectiva para la instalación de un alcantarillado de ø 900 mm (36") a una profundidad de 3.20 m a clave, suponiendo que se va a colocar en un terreno donde predomina la arcilla saturada.

a) Diseño detallado

1. Se selecciona tubería de concreto.
2. Para la excavación, el ancho máximo de zanja debe ser 1.50 m, según el cuadro Nº3.
3. Conocidos el ancho, profundidad y material de relleno, con base en el cuadro Nº1 se determina el coeficiente Cd y a partir de él se calcula la carga producida por el relleno así:

   $W = Cd.w.Bd^2$

   $Cd = 1.70 \quad w = 2100\ kg/cm^2 \quad Bd = 1.50\ m$

A continuación se determina el coeficiente Cs para calcular la carga viva así:

$$Wc.v = \frac{Cs \times P \times F}{L}$$

Del cuadro Nº2, se obtiene: Cs = 0.049
P = carga concentrada (camión HS20) = 7257 kg
F = factor de impacto = 1.0 (para profundidades mayores de 0.90 m)

L = 1.00 m

$$Wc.v = \frac{0.049 \times 7257 \times 1.0}{1.00} = 355.59 \text{ kg}$$

carga total = 8032.50 + 355.59 = 8388 kg

Para obviar el cálculo anterior, se puede utilizar el gráfico Nº4, en el cual con la ordenada de 3.20 m de altura de relleno y la curva correspondiente a ø 900 mm (36"), se lee en la abscisa, una carga total de 8300 kg.

4. Con la carga total de 8300 kg y con base en el cuadro Nº5 se puede ver que de utilizarse tubería sin refuerzo, se requeriría una cimentación en concreto hasta el eje del tubo, con un factor de carga de 3.0 y una carga máxima admisible de 9.382 kg.

Si se utiliza tubería reforzada, se podrán tener las siguientes combinaciones:

– Tubería Clase I con cimentación de factor de carga 3.0 para una carga máxima admisible de 10530 kg/ml.

– Tubería Clase II con cimentación de factor de carga 1.9 para una carga máxima admisible de 8345 kg/ml.

– Tubería Clase III con cimentación de factor de carga 1.5 para una carga máxima admisible de 8897 kg/ml.

– Tubería Clase IV con cimentación de factor de carga 1.1 para una carga máxima admisible de 9662 kg/ml.

b) Diseño abreviado

Para facilitar el cálculo, se elaboró el cuadro Nº6A, en el cual directamente con el diámetro de la tubería y el material de relleno, se establecen las diferentes combinaciones entre clase de la tubería y clase de cimentación, que fijan una profundidad máxima a clave para su utilización.

Para el caso del ejemplo propuesto se tendría:

Concreto sin refuerzo: para factor de carga 3.0, la profundidad podría ser entre 2.30 m y 3.80 m, dado que la Norma Icontec 1022 especifica solamente clase única para este diámetro.

Concreto reforzado:

Clase I: para factor de carga 3.0, la profundidad podría ser entre 2.80 m y 4.50 m.

Clase II: para factor de carga 1.9, la profundidad podría ser entre 2.20 m y 3.20 m.

Clase III: para factor de carga 1.5, la profundidad podría ser entre 2.10 m y 3.45 m.

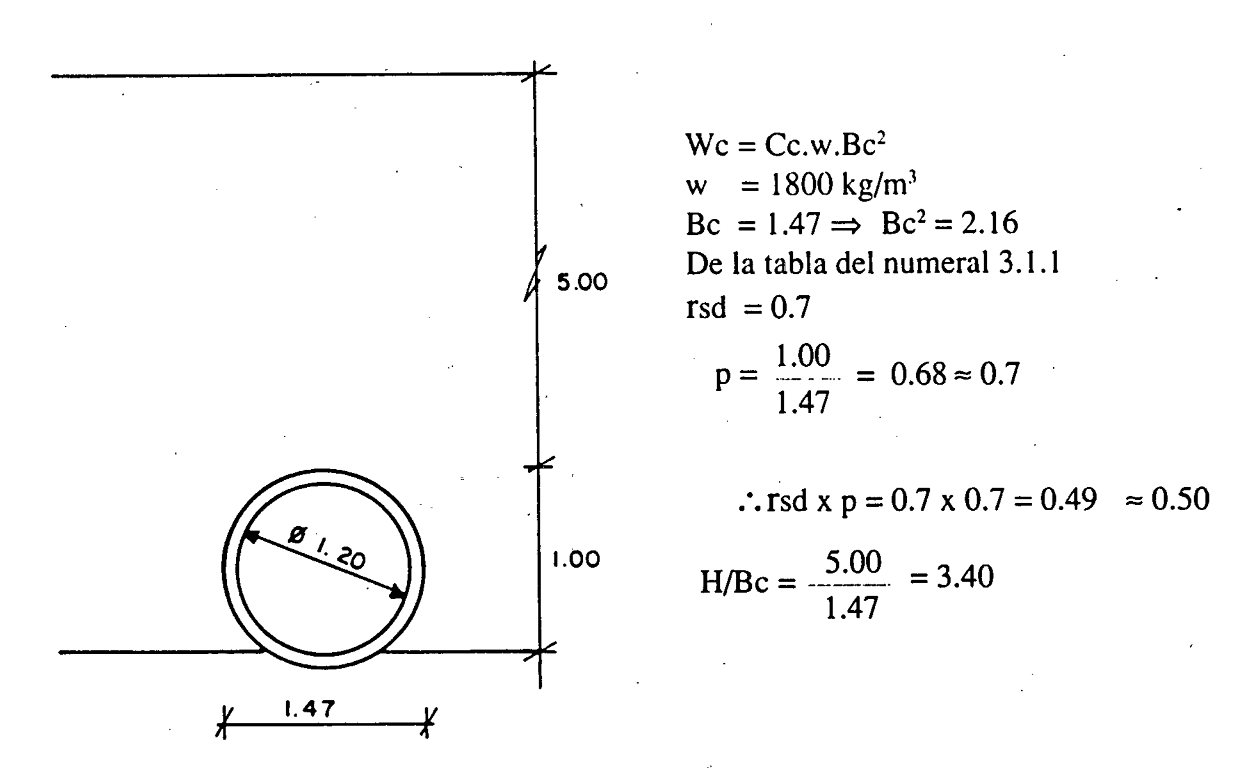
Clase IV: para factor de carga 1.1, la profundidad podría ser entre 0.60 m y 3.90 m.

Planteadas todas las anteriores alternativas, la selección final tendrá que ser, necesariamente, de tipo económico.

5.2 CONDICION TERRAPLEN

5.2.1 Proyección positiva

Determinar el tipo de tubería y la cimentación respectiva para la instalación de un alcantarillado de ø 1.20 m, bajo un terraplén de 5 m si el material tiene un peso unitario de 1800 kg/m^3 y el suelo sobre el que se cimentará la tubería es un suelo ordinario.



$Wc = Cc.w.Bc^2$

$w = 1800\ kg/m^3$

$Bc = 1.47 \Rightarrow Bc^2 = 2.16$

De la tabla del numeral 3.1.1

$rsd = 0.7$

$$p = \frac{1.00}{1.47} = 0.68 \approx 0.7$$

$\therefore rsd \times p = 0.7 \times 0.7 = 0.49 \approx 0.50$

$$H/Bc = \frac{5.00}{1.47} = 3.40$$

Utilizando el gráfico Nº5: Cc = 5.3

$\therefore Wc = 5.3 \times 1.800 \times 2.16 = 20606$ kg/m lineal

(se puede determinar utilizando el gráfico Nº7)

A ésta profundidad, la carga viva se considera despreciable.

Utilizando el cuadro N°8:
para $p = 0.7$, $rsd \times p = 0.5$ y $H/Bc = 3.40$
Si la cimentación es Clase A:

∴F.C. = 3.89

$$\therefore \text{Carga D} = \frac{20606}{3.89} = 5297 \text{ kg/m lineal}$$

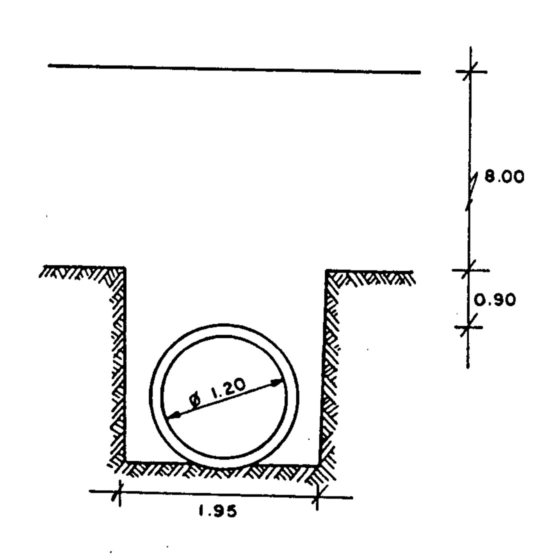
Del cuadro N°4 ⇒ seleccionamos tubería Clase II
Si la cimentación es Clase B:
∴F.C. = 2.36

$$\therefore \text{Carga D} = \frac{20606}{2.36} = 8731 \text{ kg/m lineal}$$

Del cuadro N°4 ⇒ seleccionamos tubería Clase IV

5.2.2 Proyección negativa

El mismo ejemplo anterior, pero con terraplén de 8 m:



$Wn = Cn.w.Bd^2$
De la tabla del numeral 3.1.2

$$\text{para } p' = \frac{0.90}{1.95} = 0.462 \approx 0.5$$

$\therefore rsd = -0.1$
$p' \times rsd = 0.5 \times (-0.1) = -0.05$

$$\frac{H}{Bd} = \frac{8.00}{1.95} = 4.10$$

Utilizando el gráfico N°8
∴Cn : 3.3

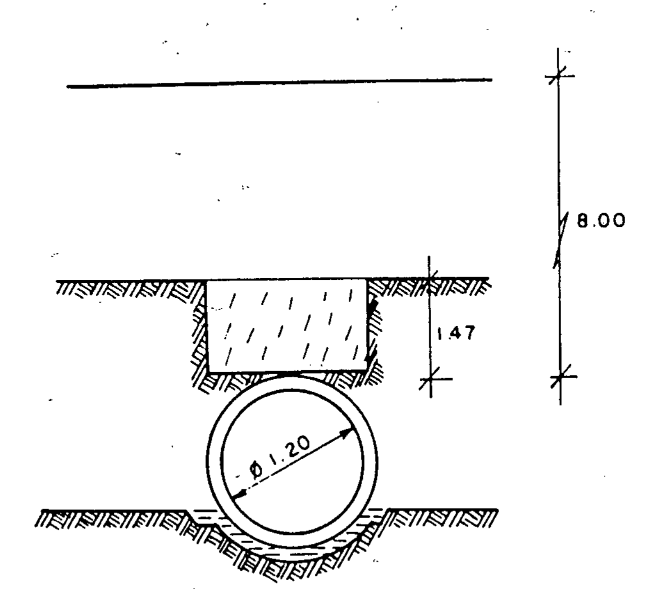
$Wn = 3.3 \times 1800 \times 1.95^2 = 22587$ kg/m lineal
A ésta profundidad, la carga viva es despreciable.
Si utilizamos cimentación en concreto hasta 1/6 del diámetro exterior del tubo,
∴F.C. = 2.2

$$\text{Carga D} = \frac{22587}{2.2} = 10267 \text{ kg/m lineal}$$

∴Del cuadro N°4 ⇒ seleccionamos tubería Clase IV

5.2.3 Zanja inducida

El mismo ejemplo anterior:



$Wi = Ci.w.Bc^2$

$p' = \frac{1.47}{1.47} = 1.0$

De la tabla del numeral 3.1.3

rsd = - 0.7

$\therefore p' \times rsd = (-0.7) \times (1.0) = -0.7$

$\frac{H}{Bc} = \frac{8.00}{1.47} = 5.44$

Utilizando el gráfico Nº8

Ci = 3.1

$\therefore Wi = 3.1 \times 1.800 \times 1.47^2 = 12053$ kg/m lineal

A esta profundidad, la carga viva es despreciable.

Utilizando el cuadro Nº9:

Para p = 0.7, rsd = -0.7 y H/Bc = 5.44

Si la cimentación es clase A:

F.C = 8.53

$\therefore$ Carga D= $\frac{12053}{8.53}$ = 1413 kg/m lineal

Del cuadro Nº4 ⇒ Seleccionamos tubería <u>Clase I</u>

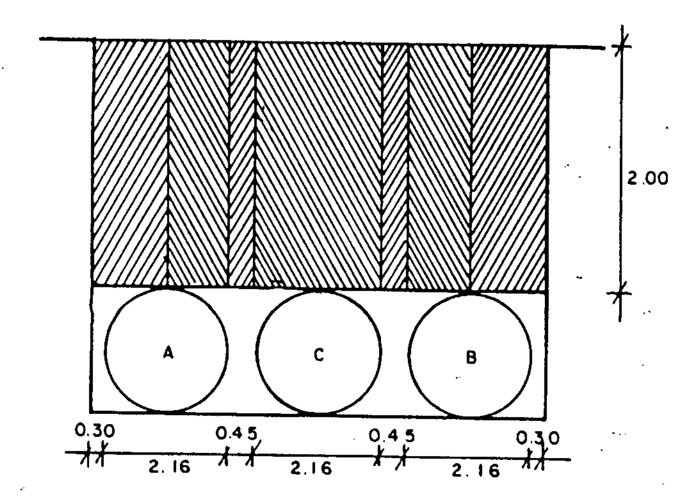
Si la cimentación es Clase B:

$\therefore$ F.C = 3.11

$\therefore$ Carga D= $\frac{12053}{3.11}$ =3876 kg/m lineal

Del cuadro Nº4 ⇒ Seleccionamos tubería <u>Clase I</u>

5.3 INSTALACION MULTIPLE



Determinar la clase de tubería que se debe utilizar si se van instalar con una cimentación Clase B, y el relleno se hará con mezcla de arena y grava.
($w = 1950\ kg/m^3$)
Se estima para estas condiciones un
rsd = 0.4 y P = 0.7
øA = øB = øC = 1.80 m

– Análisis de la condición de Carga

Tubo C:

Con el valor 2.16 + 2 x 0.45 = 3.06 m y H = 2.00 m, utilizando el gráfico Nº10, ∴ Ancho de transición = 2.90 m como 2.90 < 3.06, el tubo C está cargado como *condición de proyección positiva*.

Tubos A y B

Dado el ancho de zanja, $Bd = \frac{2.16}{2} + 0.30 \times 2 = 2.76\ m$

que resulta menor que el ancho de transición, 2.90 m, las porciones exteriores de los tubos A y B estarán cargadas como *condición zanja*. Además, como el valor

$\frac{2.16}{2} + 0.45 \quad \times 2 = 3.06\ m$

resulta mayor que el ancho de transición, 2.90 m, las porciones interiores de los tubos A y B estarán cargadas como *condición de proyección positiva*.

– Determinación de las cargas:

rsd x p = 0.4 x 0.7 = 0.28 ≈ 0.3

Tubo C

Del gráfico Nº5, para $H/Bc = \frac{2.00}{2.16} = 0.93$ y rsd x p = 0.3

∴ Cc=1.4

$Wc = 1.4 \times 1950 \times 2.16^2 = 12737$ kg/m lineal

Del gráfico Nº6, $W = \frac{10500 \times 1950}{1600} = 12797$ kg/m lineal

Tubos A y B:

Del cuadro Nº 1, para $H/Bd = \frac{2.00}{2.76} = 0.72 \Rightarrow Cc = 0.64$

Para las columnas exteriores:

$$W= \frac{0.64x1950x2.76^2}{2} = 4753 \text{ kg/m lineal}$$

Como las cargas de las columnas interiores están actuando como proyección positiva, como las del tubo C, las cargas serán:

$$W= \frac{12737}{2} = 6368 \text{ kg/m lineal}$$

$\therefore$ La carga total para cada tubo A y B será:

W = 4753 + 6368 =11.121 kg/m lineal

Para esta profundidad, la carga viva es despreciable.

Determinación del F.C:

Tubo C

Del cuadro Nº8, para $\frac{H}{Bc} = \frac{2.00}{2.16} = 0.93$, $p = 0.7$ y $rsd \times p = 0.3$

$\therefore$ F.C = 2.62

Tubos A y B

Para condición zanja $\Rightarrow$ F.C = 1.9

Para condición proyección positiva $\Rightarrow$ F.C = 2.62

– *CLASES DE TUBERIA:*

Tubo C:

$$\text{Carga D} = \frac{12737}{2.62} = 4861 \text{ kg/m lineal}$$

Del cuadro Nº4, seleccionamos tubería Clase I

Tubos A y B

Para condición zanja: $\text{Carga D} = \frac{4753x2}{1.9} = 5003$ kg/m lineal

Para condición proyección positiva:

$$\text{Carga D} = \frac{6368x2}{2.62} = 4861 \text{ kg/m lineal}$$

Para el caso más desfavorable, Carga D = 4861 kg/m lineal, del cuadro Nº 4, seleccionamos tubería Clase I.